



**ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA IMPRESIÓN 3D EN EL
SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA APLICANDO LA
METODOLOGÍA “DESIGN THINKING”**

JUAN DIEGO MAHECHA VARGAS

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL VIRTUAL
BOGOTÁ, D. C.
2021.**

**ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA IMPRESIÓN 3D EN EL
SECTOR DE LA CONTRUCCIÓN EN COLOMBIA APLICANDO LA
METOLOGÍA “DESING THINKING”**

JUAN DIEGO MAHECHA VARGAS 506470

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

**DIRECTORA:
INGENIERA. CAMILA JARAMILLO MONROY**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL VIRTUAL
BOGOTÁ, D. C.
2021.**



Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#). [Advertencia.](#)

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

PERIODO: I SEMESTRE 2021

PROGRAMA ACADÉMICO: INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIANTE. JUAN DIEGO MAHECHA VARGAS

CÓDIGO: 506470

DIRECTOR SUGERIDO: CAMILA JARAMILLO MONROY

ALTERNATIVA: VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL VIRTUAL

VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL VIRTUAL

LUGAR DE LA VISITA: UNIVERSIDAD POLICTENICA DE VALENCIA
ESPAÑA

DURACIÓN Y FECHAS DE LA VISITA: 03 DE NOVIEMBRE AL 19 DE
DICIEMBRE DE 2020

TÍTULO

ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA IMPRESIÓN 3D EN EL SECTOR
DE LA CONTRUCCIÓN EN COLOMBIA APLICANDO LA METOLOGÍA
“DESING THINKING”

ALTERNATIVA

VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

GESTIÓN INTEGRAL Y DINÁMICA DE LAS ORGANIZACIONES
EMPRESARIALES

NOTA DE ACEPTACIÓN:

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA JURADO

FIRMA JURADO

BOGOTA, 10, JUNIO 2021

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por la fortaleza espiritual, la sabiduría para realizar y culminar este proyecto; a mi familia por el apoyo incondicional durante todos estos años de carrera universitaria y a todos los docentes que contribuyeron a mi formación profesional y personal.

Tabla Contenido

1. INTRODUCCIÓN	13
2. ANTECEDENTES Y LIMITACIONES	14
3. JUSTIFICACIÓN.....	17
4. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	19
5. OBJETIVOS.....	21
General.....	21
Específicos	21
6. MARCO TEÓRICO	22
7. ESTADO DEL ARTE.....	28
8. METODOLOGÍA	34
8.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	34
8.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	34
8.3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA “DESIGN THINKING”	35
8.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN 35	
8.5 FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA IMPRESIÓN 3D EN COLOMBIA.....	36
9. MÉTODO DE IMPRESIÓN 3D EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN	37
10. MÉTODOS CONVENCIONALES EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN	43
11. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA “DESIGN THINKING”	49

12. GENERACIÓN MAPA DE EMPATÍA	53
13. ETAPA DE IDEACIÓN	56
14. PROPUESTA DE LA APLICACIÓN DE LA IMPRESIÓN 3D EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA.	62
15. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
16. BIBLIOGRAFÍA.....	68
17. ANEXOS.....	73

Tabla De Figuras

<u>Figura 1. La primera casa española en 3D en Valencia [9]</u>	23
<u>Figura 2. Impresión 3D por Estereolitografía [15]</u>	24
<u>Figura 3. Edificio más grande con impresión 3D en Dubái [35]</u>	38
<u>Figura 4. Robot de BatiPrint 3D [37]</u>	39
<u>Figura 5. Be More 3D Impresión de la casa en curso. [39]</u>	40
<u>Figura 6. Impresora Big Delta en proceso de casa Gaia en Italia [41]</u>	41
<u>Figura 7. Casa Gaia WASP [42]</u>	41
<u>Figura 8. Beneficios y limitaciones de la impresión 3D.</u>	42
<u>Figura 9. Descapote y preparación del terreno. [44]</u>	43
<u>Figura 10. Limpieza del terreno. [45]</u>	44
<u>Figura 11. Replanteo.[47]</u>	44
<u>Figura 12. Proceso de cimentación. [51]</u>	46
<u>Figura 13. Levantamiento de muros. [53]</u>	46
<u>Figura 14. Encofrado y vaciado.[54]</u>	47
<u>Figura 15. Diseño de escaleras.[55]</u>	48
<u>Figura 16. Beneficios y limitaciones del método de construcción tradicional.</u>	48
<u>Figura 17. Pentágono de demandas e impulsores de innovación.</u>	52
<u>Figura 18. Mapa de empatía.</u>	55
<u>Figura 19. Canvas de generación de innovación.</u>	60
<u>Figura 20. Viabilidad.</u>	61
<u>Figura 21. Cuadro comparativo entre métodos.</u>	64
<u>Figura 22. Participación clase magistral.</u>	73

<u>Figura 23. Certificado participación visita técnica internacional virtual.....</u>	74
---	----

Tabla De Anexos

ANEXO A. EVIDENCIA DE PARTICIPACIÓN VISITA TÉCNICA

INTERNACIONAL VIRTUAL..... 73

ANEXO B. CERTIFICADO DE PARTICIPACIÓN VISITA TÉCNICA

INTERNACIONAL VIRTUAL..... 74

GLOSARIO

Construcción tradicional: Entendemos por “construcción tradicional” a la que realiza en el lugar “in situ” todas aquellas tareas necesarias para materializar la mayor parte de los subsistemas de un edificio. [1]

DESIGN THINKING: Design Thinking, en español, pensamiento de diseño, es una metodología o proceso que permite o facilita la solución de problemas, el diseño y desarrollo de productos y servicios de todo tipo y sectores económicos, utilizando para ello equipos altamente motivados, y la innovación y creatividad como motores o mantras. [2]

Impresión 3D: es un conjunto de procesos que producen objetos a través de la adición de material en capas que corresponden a las sucesivas secciones transversales de un modelo 3D. Los plásticos y las aleaciones de metal son los materiales más usados para impresión 3D, pero se puede utilizar casi cualquier cosa, desde hormigón hasta tejido vivo. [3]

Métodos de construcción: son un conjunto de procedimientos o recursos implementados en los procesos de edificación, fabricación y desarrollo de una obra de ingeniería o arquitectura. [4]

Mapa de empatía: es un formato que busca describir el cliente ideal de una empresa por medio de análisis de 6 aspectos, relacionados a los sentimientos del ser humano. Puede ser realizado a partir de preguntas que ayudan a entender a conocer el cliente y como relacionarse con él. [5]

1. INTRODUCCIÓN

La presente propuesta de investigación se enfoca en el sector de la construcción y en el proceso de actualización e innovación, teniendo en cuenta los avances tecnológicos en impresión 3D. Con el fin de estudiar la posible implementación de este proceso en nuestro país, comparado con el método tradicional de construcción, la metodología que se utilizará para el desarrollo del proyecto será “Design Thinking”, impartida en el diplomado “Gestión de la innovación”, en el marco de la visita técnica internacional virtual realizada en el periodo 2020-3.

Con el pasar de los años la industria de la construcción ha crecido de manera acelerada en nuestro país y con ello han surgido nuevos avances en cuanto a métodos constructivos, diseños estructurales, materiales, entre otros. Las principales ventajas de este nuevo proceso de construcción se basan principalmente en la reducción del tiempo de construcción, la capacidad operativa de tiempo completo y la reducción en el desperdicio de materiales. Este método se ha usado para la fabricación de maquetas arquitectónicas, piezas prefabricadas, e incluso casas habitables.

La impresión 3D ha sido un proceso relativamente nuevo en todos los mercados, bien sea en fabricación de elementos para el hogar o para el ámbito médico. Para la implementación de dicho proceso es necesario profundizar en sus ventajas y desventajas, en comparación con la construcción tradicional, ya que podría generar un gran avance en el sector de la construcción del país, mejorando así el tiempo de construcción, innovando el mercado y reduciendo los costos de obra.

2. ANTECEDENTES Y LIMITACIONES

Charles Hull inventó la primera impresora 3D en 1986. La técnica de impresión 3D se ha aplicado ampliamente en los ámbitos del diseño industrial, la fabricación, la bioingeniería, la ingeniería automotriz, la ingeniería aeroespacial, el procesamiento de alimentos, la arquitectura y los edificios.

Asimismo, se han realizado algunos intentos de explorar el potencial de la impresión en 3D en la industria de la construcción. El primer intento de manufactura aditiva con base de cemento se llevó a cabo por Pegna [6]. En dicha investigación los componentes de hormigón se fabricaron manualmente depositando una fina capa de arena, seguida de una capa de pasta de cemento para pegar selectivamente la arena. Las capas se comprimieron y luego se aplicó vapor para obtener un curado rápido. Sin embargo, este trabajo no fue continuado. Desde 1998, Khoshnevis & Rosanne desarrollaron un proceso de manufactura aditiva de material cementoso llamado "Contour Crafting", que más tarde se convirtió en un método eficaz para imprimir casas a escala real [7].

Una de las investigaciones más recientes la realiza De La Cruz. En esta se muestra que, en el ámbito de la edificación, la impresión 3D vive también su particular esplendor como nuevo método de construcción. El mecanismo es similar al de la impresión doméstica, pero a gran escala. "La automatización llegará a la construcción. (...) Pero el sector requerirá en el futuro nuevos perfiles profesionales para hacer frente a esta tecnología" [8].

Rodríguez, coordinador de 3D Cons, indica que este es un proyecto que investiga nuevos sistemas de impresión 3D para rehabilitar envolventes mediante impresión

directa y elaborar elementos prefabricados a la carta, sin necesidad de moldes o encofrados.

Como se mencionó anteriormente, este método ha sido objeto de diversas investigaciones, tanto así que en el país se llevó a cabo la elaboración del primer modelo de una casa en el año 2017. Este proyecto de vivienda unifamiliar contó con un área funcional de 23.45 metros cuadrados (habitación, baño, sala, comedor y cocina). Este proyecto, conocido como Casa Origami, consiste en un conjunto de treinta y dos elementos impresos y ensamblados con precisión, tal y como si se tratara de una figura de origami modular en la que varias piezas idénticas forman un modelo completo. La unidad habitacional cuenta con un sistema autónomo para la generación de energía a través de paneles solares y es el primer prototipo de vivienda impresa en 3D del país [8].

En la presente propuesta de trabajo de grado se presentan algunas limitaciones que se deben mencionar. El proyecto se basa en un modelo netamente de investigación teórica que busca realizar una comparación entre el método de construcción tradicional y el proceso de impresión 3D aplicado al sector de la construcción en el contexto nacional. Como se ha podido evidenciar, hay una amplia base de datos con información suficiente para poder desarrollar el proyecto sin ningún inconveniente, incluyendo investigaciones sobre la impresión 3D aplicada a la construcción, al igual que información sobre la metodología “Design Thinking”. Durante el planteamiento del proyecto se evidenció que no es necesario incluir recursos financieros adicionales a los especificados en la Figura 4 para la ejecución de este. Sin embargo, en cuanto a conocimientos propios, hay limitaciones en temas de mercadeo e innovación, los cuales fueron temas centrales de la Visita Técnica Internacional Virtual. Por otra parte,

debido a la situación de salud pública a causa de la pandemia del COVID -19 no es posible visitar las empresas que manejan tecnología 3D para la realización de pruebas con este método que permitan recopilar datos que puedan ayudar al fortalecimiento de la investigación.

Respecto a la implementación de la impresión 3D en Colombia, se presentan algunos obstáculos relacionados con la implementación del proceso constructivo de impresión 3D en la industria. Entre estas está la falta de desarrollo de tecnologías competentes a nivel académico e industrial, ya que este proceso se encuentra en fase experimental. También se hace evidente la carencia de recursos económicos para la implementación de este proceso en el país, al igual que falta de aceptación por parte de algunos sectores de la industria del cambio de los procesos tradicionales de construcción.

3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad es necesario crear y promover una sociedad sostenible basada en la tecnología de prototipado rápido. Debido a que existe un crecimiento en todo tipo de industrias, es necesario adaptar y manejar tecnología escalable que genere un crecimiento eficiente y de calidad, en este caso enfocado en el ámbito de la construcción.

A partir de lo mencionado anteriormente se pretende llevar a cabo una revisión y análisis de información en la temática de estudio que permita identificar si con las condiciones actuales en el sector de la construcción en Colombia es favorable o no la implementación de impresoras 3D en esta industria. Lo anterior realizando un análisis de los métodos convencionales de construcciones civiles y utilizando la metodología “Design Thinking”, desarrollada en la visita técnica internacional virtual. Dicho análisis incluirá factores técnicos, al igual que socioeconómicos y culturales. Así mismo, el presente trabajo permitirá identificar las diferencias entre los métodos constructivos actuales y este nuevo proceso de innovación, identificando las ventajas que esta tecnología puede traer al contexto nacional.

De acuerdo con lo anterior, el desarrollo de esta investigación permitirá evaluar la posibilidad de implementar este proceso en la construcción en Colombia dando un referente en el campo de la ingeniería civil de qué tan viable sería implementar la impresión 3D en la industria del país basado en los factores mencionados anteriormente y teniendo en cuenta la normatividad vigente de construcción. En cuanto a la sociedad en general se pretende brindar un nuevo método constructivo que sea innovador y que siga manteniendo estándares de calidad con una reducción en tiempos y costos de obra. Esto teniendo en cuenta que es fundamental realizar un análisis para

verificar la aplicación de productos o procesos en el mercado. Para esto se llevará a cabo un análisis del mercado de la construcción con ayuda de las estrategias, herramientas y conocimientos adquiridos durante el desarrollo del diplomado en “Gestión de la innovación” de la Universidad Politécnica de Valencia. Para el desarrollo de este proyecto se utilizará la metodología “Design Thinking” puesto que esta se ajusta a las necesidades de la investigación.

Dicha metodología consiste en el desarrollo o rediseño de procesos habituales, para este caso el proceso de construcciones civiles con el fin de satisfacer las necesidades de los clientes de esta industria [10]. Adicionalmente, la importancia de desarrollar el presente proyecto se basa en impulsar modelos de automatización innovadores como la impresión 3D, dado que esto traerá consigo un reto para los profesionales de la construcción, promoviendo la capacidad de innovación y adaptación en nuevos procesos y tecnologías, fomentando la implementación de conocimientos en el ámbito de estructuras con el fin de optimizar y avanzar tecnológicamente en este campo.

4. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

El sector de la construcción, en el contexto de procesos constructivos ha venido desarrollando nuevos métodos a partir de avances tecnológicos y desde hace algunos años ha venido tomando fuerza el uso de la impresión 3D en este sector.

En Colombia unos de los más grandes problemas al momento de realizar construcciones civiles, desde las más sencillas hasta las más complejas usando el método tradicional de construcción, han sido la falta de detalles en acabados, el desperdicio de materiales y por ende el impacto ambiental generado, la demora en el tiempo de ejecución de las obras, gastos en mano de obra y el incremento en los costos de los proyectos. Gracias a las ventajas de la impresión 3D mencionadas con anterioridad, dichos problemas se pretenden mitigar impulsando estas alternativas dentro de la industria de la construcción. No obstante, para que esto sea posible se debe profundizar en el campo de la investigación y en el análisis de los métodos actuales de construcción, comparados con las alternativas ofrecidas con la impresión 3D. Por ello, mediante esta propuesta de investigación se busca aportar con dicho análisis resultados que permitan identificar si la impresión 3D es un método de construcción viable que se adapta a las condiciones actuales de la industria.

Teniendo en cuenta lo anterior, se plantea la siguiente pregunta: ¿Qué tan factible es la implementación de la impresión 3D en el sector de la construcción en Colombia?

Con el presente proyecto se pretende analizar mediante la metodología “Design Thinking”, impartida en la visita técnica internacional virtual, qué tan viable es la implementación de dicha tecnología, y de ser así se busca identificar los beneficios de este nuevo método constructivo. Para ello, se describirán detalladamente los beneficios y limitaciones del proceso, lo que permitirá

generar recomendaciones que aporten en la investigación y posible implementación de este proceso en la industria de la construcción colombiana.

5. OBJETIVOS

General

Realizar un análisis comparativo entre la implementación de las nuevas tecnologías de impresión 3D en el sector de la construcción en Colombia y los métodos de construcción actuales, aplicando la metodología “Design Thinking”.

Específicos

- Aplicar la metodología “Design Thinking” desarrollada en la visita técnica internacional, para el análisis de los factores técnicos, socioeconómicos y culturales de la impresión 3D en el sector de la construcción en Colombia.
- Establecer qué tan factible es la implementación del proceso constructivo mediante tecnologías de impresión 3D en Colombia, A partir del análisis realizado.
- Identificar los beneficios y limitaciones de la implementación de la impresión 3D en el sector de la construcción en Colombia.

6. MARCO TEÓRICO

Desde un punto de vista histórico, Charles Hull fue el primero en inventar la estereolitografía, proceso que se refiere a la impresión. Este se orienta en la construcción de maquetas y en la creación de prototipos. Scott Crump y su compañía dieron paso a los objetos tridimensionales y con el pasar del tiempo el método ayudó a que la impresión 3D tuviese una mayor difusión. Más adelante, en la década de los noventa se desarrollan proyectos con mayores intereses y surgen empresas que lograron que la impresión 3D se convirtiera en una revolución en el comercio [11]. Son múltiples los objetos que se pueden imprimir a escala 3D, aunque la sociedad se limita a pensar que esto solo ocurre con objetos pequeños. Actualmente existen impresoras con la capacidad de imprimir las piezas de un edificio comercial. En el campo de la ingeniería y la arquitectura la impresión 3D está a punto de tener un impacto, pues el diseño es uno de los factores principales para la correcta elaboración y fabricación de infraestructuras [12].

La impresión 3D es realizada por medio de máquinas especializadas capaces de realizar sus funciones, llevando a cabo impresiones que tienen un alto volumen en todos sus diámetros. Estas impresoras son capaces de realizar cualquier diseño que haya sido programado en las computadoras. Se deben tener en cuenta las amplias tecnologías que este sistema maneja, pues la fabricación de estos objetos en tres dimensiones se consigue a partir de la unión de capas que van formando el objeto deseado. Si se habla en términos económicos la impresión 3D en este campo generará una opción más asequible para los ciudadanos y esto se podría traducir en un efecto positivo en el ámbito social, impulsando así el desarrollo en ciertos sectores de la sociedad.

Se deben tener presentes los materiales que requiere la construcción, tales como: materiales pétreos, materiales aglutinantes, cerámicos y vidrios, materiales compuestos y materiales plásticos. Los proyectos de construcción presentan diversas problemáticas y estas tecnologías innovadoras generan esperanza en la satisfacción y la mejora de oportunidad en las actividades de construcción. [13]

Figura 1. La primera casa española en 3D en Valencia [9]



Fuente: <https://www.xataka.com/otros/primeras-casas-impresion-3d-espana-estan-marcha-estos-retos-a-que-se-enfrentan>

La impresión 3D permite generar objetos tridimensionales a partir del modelo CAD. Esto con el fin de lograr objetos tridimensionales al colocar capas de material, en este caso el cemento de manera sucesiva dirigida mediante un programa computacional. En países desarrollados se ha obtenido una gran variedad de técnicas para elaborar estos objetos [14]. Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, las técnicas principales que existen en la actualidad son:

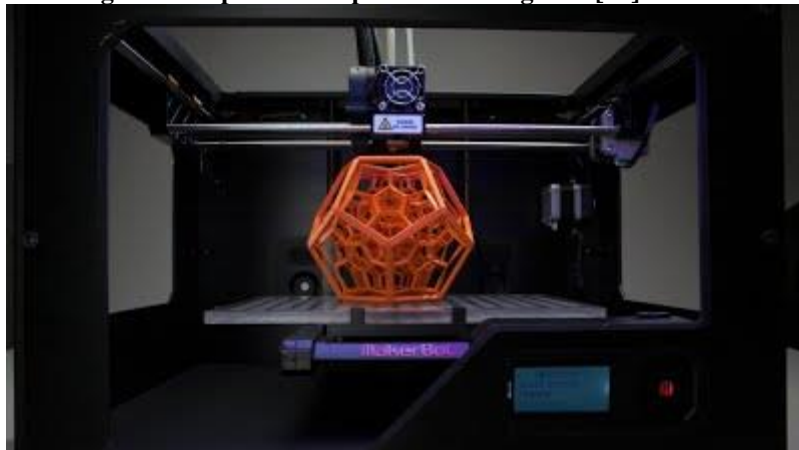
- (MDF) Modelo por deposición fundida

- (SLA) Estereolitografía
- (SLS) Sinterizado selectivo por laser

La técnica principal es la Estereolitografía (SLA),

“utiliza el principio de fotopolimerización para crear modelos 3D a partir de resinas sensible a los rayos UV. Esto se solidifica mediante el paso de una láser capa por capa, dotando con esto de mayor calidad a los modelos hechos con esta tecnología... se caracterizan por su material de impresión líquido y por la presencia de una cubierta de protección UV (generalmente naranja, verde, rojo o amarillo). Ofrecen un volumen de producción relativamente pequeño en comparación con otras tecnologías de impresión, incluso algunas máquinas como la Mammoth de Materialise pueden producir piezas de más de 2 metros” [15].

Figura 2. Impresión 3D por Estereolitografía [15]



Fuentes: <https://www.impresioni3d.com/impresion-3d-por-estereolitografia/>

Para tener más claridad frente al término “fotopolimerización” se debe tener en cuenta que “es la tecnología de impresión 3D (fabricación aditiva) más antigua que existe. Básicamente consiste en un fotopolímero líquido en una cubeta que se endurece selectivamente capa a capa mediante polimerización activada por la luz” [16]. Debido a esto se desarrollaron técnicas en la solidificación, metodologías efectivas para el trabajo de este proceso, el cual consiste en una mezcla que debe ser conformar por oligómeros y monómeros, estos dos elementos finalmente se convierten en un polímero luego de que ocurre la incidencia de luz UV. Para poder lograr una reacción se debe agregar elementos que tomen energía lumínica para generar radicales libres que generen una polimerización satisfactoria [17].

Por otra parte, el software es elemental para el funcionamiento de esta herramienta que combina un software CAD (diseño asistido por computadora, ideal para uso Industrial) y un software de modelado directo. “La elección de un programa debe basarse en primer lugar en tu nivel de experiencia: si eres un principiante, quédate con una solución accesible porque el modelado puede volverse complejo rápidamente. Esta elección también dependerá de las características que necesites, generalmente marcadas por tu sector” [14].

Lo mencionado anteriormente se refiere a un proceso llamado “contour crafting”, Este proceso fue desarrollado por Behrokh Khoshnevis y fue esencial para la construcción, tanto en exteriores como en interiores. Este se basaba en la construcción de muros para viviendas. “Es una tecnología de fabricación por capas desarrollada por el Dr. Behrokh Khoshnevis, profesor de ingeniería de la Universidad del Sur de California. Esta tecnología podría ser la solución para la creación de viviendas de bajo costo en zonas de bajos ingresos”. Este proceso ofrece amplios beneficios a las

poblaciones necesitadas, además de garantizar un ahorro considerable en materiales, en trabajadores y costos [7]. “El proceso consiste básicamente en el uso de una “impresora” 3D para la fabricación de piezas de gran tamaño. Esta “impresora” se compone de un pórtico formado por dos pilares unidos mediante una viga transversal que aloja el cabezal de impresión o boquilla de extrusión. El pórtico controlado por ordenador tiene posibilidad de desplazamiento horizontal mediante guías en el suelo y vertical gracias a rieles en los pilares” [18]. Dada la rapidez de este proceso, la construcción de estructuras se agiliza ya que esta maquinaria tiene la capacidad de trabajar días enteros, dada su resistencia y potencia.

Teniendo en cuenta que la implementación de este nuevo instrumento para la construcción es algo innovador, se quiere implementar la metodología “Design Thinking”, como el STEAM. Tim Brown, presidente y director general de Ideo, dijo en una ocasión: "El pensamiento de diseño es un enfoque de la innovación centrado en el ser humano que recurre a las herramientas del diseñador para integrar las necesidades de las personas, las posibilidades de la tecnología y los requisitos para el éxito empresarial"[19].

Dicha metodología incluye un procedimiento para producir ideas innovadoras que reúne su efectividad en comprender y ofrecer solución a las necesidades reales de los usuarios. De igual manera, en Steinbeck concluye que “el «Design Thinking» se concentra en el proceso de diseño, más que en el producto final, e integra conocimientos técnicos del diseño, las ciencias sociales, la empresa y la ingeniería” [20].

El proceso de esta metodología consiste en cinco etapas, donde en la primera se realiza una comprensión de las necesidades y entorno de los usuarios en la solución que

se está desarrollando. En esta etapa se debe ser consecuentes del problema para ser capaces de solucionar sus necesidades. En la segunda etapa se definen nuevos alcances para luego generar un mapa de empatía (Figura 18) los cuales crean perspectivas interesantes, con el fin de identificar soluciones claves.

La tercera es la etapa de ideación que tiene como objetivo la generación de variedad de opciones, compartiendo el mismo fin que las anteriores etapas, en buscar una solución eficaz. La cuarta etapa corresponde al prototipado donde se vuelven todas las ideas reales para visualizar las posibles soluciones, para así notar qué se debe mejorar o definir nuevamente antes de alcanzar el resultado final. Por último, en la etapa de testeo se ponen a prueba los prototipos con el usuario implicado. No obstante, cabe aclarar que en el presente proyecto no se realizará dicha fase, ya que es una investigación netamente teórica. Esta última fase es fundamental al aplicar la metodología puesto que permite identificar mejoras significativas, carencias y fallos por resolver; durante esta última fase se logrará evolucionar en las ideas para convertirlas en la solución que se busca desde la primera etapa.

7. ESTADO DEL ARTE

En el ámbito de la construcción es posible apreciar un interés en la tecnología de impresión 3D. Actualmente es muy competente en el actual mercado por sus múltiples ventajas, como la capacidad productiva de manera continua, una mayor capacidad de detalles en acabados, reducción en el desperdicio de materia prima, y por ende reducción de costos de obra. Por ello, con esta propuesta se busca estudiar las investigaciones más relevantes que se han desarrollado en el ámbito de la implementación de máquinas 3D en la construcción [21].

El estudio de las tecnologías existentes ha otorgado a la manufactura de la edificación y de la arquitectura el desarrollo de nuevos métodos de elaboración aditiva que permita lograr producir elementos a gran escala de hormigón u otros materiales para la edificación, a partir de la impresión en 3D. Dentro de la implementación de nuevos métodos constructivos que han permitido pasar a la macro escala vale la pena destacar 3 tecnologías diferentes: “Contour Crafting”, “D-Shape” y “Concrete Printing”. La primera de estas tecnologías fue desarrollada por Khoshnevis en el año 2004, mediante la cual se fabrica por medio de capas, expulsando el material por las boquillas de extrusión, las cuales disponen de dos paletas planas, verticales y sólidas, con el fin de crear superficies exteriores suaves y precisas, a medida que el material se deposita. Por su parte, “D-Shape” es un método basado en la extrusión, desarrollado por el equipo de impresión de hormigón de la Universidad de Loughborough. Su resolución de deposición es menor que el de “Contour Crafting” [22], por lo que tiene más versatilidad en cuanto a formas y dimensiones, pero sus acabados son menos precisos.

En el caso de “Concrete Printing” [22], este método se basa en la deposición selectiva de polvo, añadiendo aglutinante para que las capas de impresión se endurezcan. La implementación de esta técnica se realizó desde el año 2018 con la construcción de la primera casa que podía ser habitada; dicho proyecto tuvo como objetivo revolucionar las máquinas 3D en la construcción.

A nivel internacional, una de las investigaciones más importantes es la de Nadal, A & Pavón, J [23]. El objetivo del trabajo fue presentar una metodología innovadora que pudiera superar las limitaciones de flujo de trabajo, permitiendo así el uso de brazos robóticos por medio de software integrativos y el uso optimizado de materiales. Lo anterior para integrar un sistema de fabricación combinado (robótica /fabricación por deposición). A partir de esta investigación se logró que la metodología fuera aprobada con el fin de extenderla a construcciones reales. De igual forma, se concluyó que la impresión 3D trae ventajas importantes como el control de residuos, el uso de materiales orgánicos y materiales reciclados, la reducción de errores humanos en las obras y mejoras en los detalles; esto a su vez representa ventajas ambientales y económicas como la disminución del impacto ambiental producido por este tipo de proyectos y la reducción de gastos económicos.

Como se demostró que la implementación de las impresoras 3D es una herramienta factible, idónea y favorable para la construcción [24], Soriano en su investigación en Barcelona se enfoca en el diseño de las impresoras 3D para la construcción de viviendas. El objetivo principal de este estudio es diseñar la estructura y mecanismo de movimiento de la impresora con las medidas adecuadas para la construcción de la vivienda, utilizando un montaje sencillo que permita ser transportado e instalado en el terreno listo para la construcción. En este sentido, se busca que la impresora tenga la

capacidad de construir paredes completas, partes de un edificio y también mobiliario urbano con las dimensiones adecuadas y de calidad. Esto con el fin de renovar el sector de la construcción y así reducir costos finales de vivienda y tiempos de fabricación.

Por su parte, la investigación realizada por Sevilla Vilches [26], tiene como objetivo estudiar parámetros de funcionamiento de la implementación de las impresoras tridimensionales en la construcción. En el transcurso de su estudio se identificaron las ventajas y desventajas de la construcción aditiva y se presentaron tres ventajas que se destacan en este proceso. Por un lado, la adaptabilidad de las impresoras con gran variedad de diseños, formas y tamaños, lo cual hace que los procedimientos de construcción no tengan restricciones en cuanto a la forma arquitectónica; otra de estas ventajas es la capacidad de fabricación en lugares diferentes, ya que tiene simples procesos de desplazamiento, y con esto se logra agilizar la elaboración de viviendas; y por último, presenta la implementación de diseños complejos, ya que únicamente varía el programa a emplear.

Las desventajas que se evidenciaron en este estudio fueron las limitaciones respecto a los materiales, ya que cada impresora puede manejar un único material o un corto rango de ello. Por ello, para utilizar diferentes materiales se requiere una variedad de impresoras. Por otro lado, el terreno de la construcción debe ser tratado con anterioridad puesto que se debe adaptar y escanear en el software durante la fase de planeación con el fin de evitar que se presenten problemas en la ejecución de la construcción [27].

A nivel nacional se han realizado investigaciones con el propósito de evidenciar si la implementación de estas máquinas y las nuevas metodologías son beneficiosas, convenientes y rentables para el caso de Colombia. Calderón [28] destaca que la

implementación de estas nuevas máquinas 3D pretende enfocarse en ganar calidad y rapidez en las construcciones, con el fin de reducir costos, y de este modo lograr que sea rentable para la industria. A través de esta investigación se reconoció que la implementación de esta nueva maquinaria en el campo de la ingeniería permitiría al país aplicar estrategias de desarrollo, tanto en el ámbito económico como en construcciones civiles. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se obtienen mejores estructuras que aportan una estabilidad en materia de seguridad, mantenimiento y reducción de costos. No obstante, lo más importante es que se reconoció que la aplicación de la impresora tridimensional logra redefinir la forma en cómo las obras de construcción civil se conocen hoy en día. Adicionalmente, se llegó a la conclusión de que las construcciones en 3D no son factibles a gran escala en el estado colombiano, debido a las limitaciones en el campo de la investigación y al escaso interés por parte de las empresas en el tema. Lo anterior teniendo en cuenta los altos costos de iniciativa debido a que aún no se cuenta con un prototipo en el mercado, sino que este debe ser motivo de ensayos e investigación por diferentes entidades e instituciones [25].

Por otro lado, en la investigación realizada por Armendis [29] se muestra que las empresas que han implementado estas máquinas tridimensionales de gran formato han presentado diferentes oportunidades ya que la máquina es portátil y cuenta con un sistema que está compuesto por un vehículo con orugas que transporta los brazos mecánicos; su uso se da por energía eléctrica o con paneles solares, además los tiempos de realización oscilarían entre 14 y 25 horas, dependiendo del proyecto, por lo tanto los costos disminuirían, al igual que los residuos de la construcción.

La investigación mencionada anteriormente se realizó con el fin de conocer los costos, tiempos y la utilidad de estas impresoras mediante la metodología de BIM (Building Information Modeling). Dicha metodología tiene como objetivo centrar la información recopilada en campo del proyecto con el prototipo digital de elementos físicos de la vivienda. En ella pueden realizarse muros, pilares, escaleras, puertas entre otros. En este sentido, se busca imitar de manera digital la construcción con el fin de entender su estructura, comportamiento y entorno antes de realizar la construcción real. Con la implementación de esta maquinaria y metodología se evidencia que la mano de obra presentaría una disminución significativa, y a su vez se reducirían los costos de producción.

Por otro lado, Migilinskas, Popov, Juocevicius, & Ustinovichius [30] realizaron estudios en cuatro casos prácticos de implementación de BIM con el fin de conformar varias sugerencias prácticas para los planes de utilización de esta metodología. Luego de recopilar datos e información llegaron a la conclusión de que esta metodología es rentable y con ella se obtienen muchas ganancias de productividad gracias a la disminución de costos de producción y de mano de obra. De igual manera, concluyeron que, aunque esta implementación trae varios beneficios también requiere el desarrollo de herramientas confiables para no encontrar dificultades en el momento de intercambio de herramientas de software.

Asimismo, Dumitrescu & Tănase realizaron una investigación donde el objetivo era revelar las principales estrategias a partir del análisis de la situación presente y las implicaciones económicas de esta nueva tecnología disruptiva. En el desarrollo de este análisis Garther aportó que la evolución de la impresión 3D se podrá expandir hasta llegar a implementarla en prototipos de fabricación aditivas de implantes, impresión

para equipos medicos entre otros. De igual forma, menciona la importancia de cómo la implementacion de la impresión 3D será un buen medio para producir bienes económicos a raíz de la optimizacion de procesos. Además, los expertos de la OMPI consideran que el desarrollo de la impresión 3D podría tener el mismo impacto en la industria manufacturera, como lo hicieron los aviones en la industria del transporte en el siglo pasado [31].

Herrera Garcia en su trabajo analiza las implicancias de usar un primer ejemplar 3D en los proyectos de construcción. De igual manera, en el desarrollo de su proyecto muestra las ventajas de la utilizacion de tecnologia Polyjet. Dentro de estas es importante resaltar que los objetos producidos no necesitan un post tratamiento. Además esta tecnologia tiene la capacidad de crear objetos resistentes a golpes. También realiza un análisis de costos de la impresión 3D, en el cual concluye que dependiendo del tamaño, volumen y geometría de lo que se planea imprimir, luego de la planeación, el tamaño puede aumentar, y con ello, el precio [32].

Por otra parte, Montiel hace referencia a la impresora 3D como herramienta de innovación en el futuro y estudia la evaluacion del hormigón, que es el material utilizado para la construcción con estas impresoras. Asimismo, indaga más a fondo las tecnologías de esta herramienta, como lo son “Contour Crafting”, “D-Shape” y “MXED”. Lo anterior con el fin de comparar estas tecnologías para así decidir cuáles podrían aplicarse dentro del mundo de la arquitectura. En su estudio concluye que la tecnología “Contour Crafting” y “MXED” han tenido evolución en las técnicas aplicadas y en los materiales, permitiendo la ejecución de un proyecto arquitectónico con mejores resultado [33].

8. METODOLOGÍA

A continuación, se describe la metodología del trabajo. En la presente propuesta de trabajo se propone realizar una revisión bibliográfica y un análisis basado en la aplicación de la metodología “Design Thinking”, impartida en el diplomado “Gestión de la Innovación”, en el marco de la visita técnica internacional, con el fin de responder al interrogante planteado. Posteriormente se plantea un proceso secuencial desarrollado en 5 fases. Las actividades se acoplan estratégicamente con el fin de garantizar el cumplimiento progresivo de los objetivos específicos del proyecto.

8.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Para el proyecto a desarrollar se definió como tema de investigación el análisis de la implementación de la impresión 3D en el sector de la construcción en Colombia aplicando la metodología “Design Thinking”.

8.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Posterior a la definición del problema, se realizan consultas de información en diferentes fuentes relevantes incluyendo normas, reportes técnicos, patentes, revistas de investigación especializadas, memorias de conferencias, simposios, tesis doctorales, congresos y artículos, con el fin de realizar una investigación sólida con antecedentes de validez. Con esto se busca de recolectar suficiente información que permita realizar un cuadro comparativo entre el método de construcción tradicional y el método de impresión 3D, de acuerdo con la literatura técnica. La información que se pretende encontrar se centra en factores técnicos como tiempos, costos y normatividad de construcción. En el análisis también es necesario incluir el factor socioeconómico, ya que se debe evaluar si este método está al alcance de cualquier

persona, teniendo en cuenta factores sociales y culturales, ya que puede que haya escepticismo ante este nuevo proceso, llevando a que no sea factible su futura implementación. Esto se analizará estableciendo los beneficios y las limitaciones de cada proceso, para de esta manera determinar si es viable establecer el método de impresión 3D en la construcción de obras civiles en Colombia.

8.3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA “DESIGN THINKING”

En esta fase del proyecto se deberá implementar la metodología “Design Thinking”, desarrollada en la visita técnica internacional con el fin de reconocer los beneficios y limitaciones de la metodología de impresión 3D para rediseñar el proceso tradicional de construcción, haciendo una investigación del mercado para establecer las condiciones actuales de dicha industria enfocados en los factores mencionados en la fase anterior, es decir, sociales, técnicos y económicos.

8.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN

En la cuarta fase se analizará la información obtenida sobre los métodos de construcción en estudio. La manera adecuada de realizar este análisis es centrar la búsqueda en los documentos más relevantes, ya que estos serán en los que se espera encontrar la información que se usará para generar los aportes a la investigación. Esta fase se realiza de manera conjunta con la primera ya que en cada documento por revisar se debe tener presente el eje y los factores más relevantes de la investigación. Teniendo claro esto será más fácil llegar a una recopilación adecuada y posterior análisis de la información que permitirá generar resultados y conclusiones óptimas que den respuesta a la pregunta problema.

8.5 FACTIBILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA IMPRESIÓN 3D EN COLOMBIA

Luego de realizar el análisis de los métodos en estudio, apoyado en la metodología “Design Thinking” y teniendo como referente los factores mencionados anteriormente, se procede a determinar la factibilidad de dicha implementación viendo que los beneficios aportados por esta nueva tecnología sean mayores a las propias limitaciones, tanto para los profesionales como para los consumidores, todo esto con el fin de identificar si su posible implementación es factible para la industria de la construcción en el país.

9. MÉTODO DE IMPRESIÓN 3D EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

Para poder empezar a generar un análisis derivado de información se precisa recopilar información sobre el método y uso de la impresión 3D en el sector de la construcción, el cual se basa principalmente en un modelo computacional en el que se diseña el modelo a construir, bien sea elementos estructurales (vigas, columnas, etc.), mobiliario urbano y vivienda. Este método se ha empleado en diferentes partes del mundo con diferentes metodologías. Con el análisis realizado se observó que las siguientes son las metodologías y fabricantes principales del mercado en impresión 3D en la construcción, inicialmente una empresa rusa llamada Apis Cor desarrolló una impresora 3D, la cual tiene la capacidad de construir una casa en 24 horas. Esta máquina tiene unas medidas de 4.5 metros de largo y 1.5 metros de alto y ancho. Es un robot móvil que es capaz de construir paredes de edificios con cualquier diseño en marcos de tiempo muy cortos. Puede imprimir a través de una superficie de 132 metros cuadrados, dejando cero residuos de construcción y utiliza un sistema automático de estabilización horizontal para la construcción de casas en terreno irregular [34].

De igual manera, esta empresa rusa desarrolla su propio software y un programa de control con el fin de facilitar y mejorar el trabajo de construcción, crearon el edificio más grande impresión en 3D en un total de 17 días el cual se ubica en Dubái con una superficie de 640 m² de dos pisos con altura de casi 10 metros.

Figura 3. Edificio más grande con impresión 3D en Dubái [35]



Fuente: <https://www.whatsnews.com/2019/12/20/dubai-construye-el-edificio-mas-grande-del-mundo-nacido-de-la-impresion-3d/>

Por otra parte se encuentra el proceso de BatiPrint el cual se desarrolló por un equipo de investigadores de la universidad de Nantes, BantiPrint 3D permitió la construcción de una primera vivienda social en Nantes, todo el proceso de software se desarrolló en asociación con LS2N, un laboratorio especializado en robótica, para este proyecto crearon un robot industrial de 4 metros de largo el cual es poli articulado y móvil lo que le permite una mejor movilidad para operar directamente en el lugar deseado y es capaz de construir muros de 7 metros altura. De igual manera, tiene la capacidad depositar 3 capas de material para la construcción, donde dos capas son de espuma de polímero del tipo expansivo y la tercera es de concreto. Benoit Furet, profesor de la Universidad de Nantes, explica que “la espuma aporta aislamiento interno y externo; el hormigón el refuerzo de la estructura que por lo tanto es antisísmica” [36].

Figura 4. Robot de BatiPrint 3D [37]



Fuente: <http://imprimalia3d.com/noticias/2017/09/13/009301/impresi-n-3d-una-vivienda-social-nantes>

Otra de estas empresas fue la española Be More 3D, la cual surge en la universidad politécnica de Valencia en el año 2014. Esta empresa está conformada por cuatro jóvenes que trabajan por la implementación de las tecnologías de impresión 3D en el sector de la construcción y se especializan en la fabricación aditiva de hormigón. Esta empresa española ha sido la primera en crear una impresora 3D de construcción, la cual tiene capacidad de construir viviendas de 32 metros cuadrados en 12 horas interrumpidas. Esta máquina se mueve dibujando el contorno de la obra y progresivamente vierte capas de hormigón. Ramírez explica que su versatilidad permite crear formas complejas y diseños arquitectónicos sofisticados. Encofrados curvos, muros, formas triangulares, así como cambiar el diseño de la vivienda modificando solo el archivo de instrucción y en el momento de la construcción [38].

Figura 5. Be More 3D Impresión de la casa en curso. [39]



Fuente: <https://economia3.com/2019/10/10/226254-be-more-3d-imprime-casa-metros-horas/>

En Massa Lombardata, Italia, se encuentra la impresora 3D más alta del mundo es de 12 metros de altura y 7 metros de ancho, capaz de imprimir viviendas a escala real en menor tiempo y a bajo costo es llamada la impresora Big Delta. Fue creada por la empresa italiana WASP y tiene diferentes brazos ajustables de 6 metros, podría mover una carga de 200 kg, pero dicha empresa sugiere usar de 40 a 50 kg de material para evitar vibraciones. Su proyecto más relevante es la construcción de la vivienda bautizada como Gaia, la cual sería la primera casa fabricada de arroz y tierra e impresa en 3D. Esta empresa busca implementar un tipo de construcción sostenible y por esto la creación de este proyecto en compañía de RiceHouse. Este material natural proviene de los residuos de la cadena de producción del arroz de los que se nutre RiceHouse, empresa que convierte este cereal en material constructivo. Lo anterior teniendo en cuenta que la paja de arroz aporta resistencia mecánica a las capas de la pared y minimiza el encogimiento de la mezcla seca, mientras que la cascara de arroz otorga cualidades de aislamiento térmico a la construcción [40].

Figura 6. Impresora Big Delta en proceso de casa Gaia en Italia [41]



Fuente: <https://www.3dnatives.com/es/dia-de-la-tierra-3d-210420172/#!>

Figura 7. Casa Gaia WASP [42]



Fuente: <https://www.celside-magazine.com/es-es/vale-lo-mismo-que-un-iphone-y-esta-impresa-en-3d-gaia-la-casa-del-futuro/>

Con base en la investigación realizada anteriormente con respecto al proceso constructivo mediante impresión 3D se pudieron identificar los beneficios y limitaciones y desventajas de dicho proceso las cuales se plasman en la siguiente tabla de resultados:

Figura 8. Beneficios y limitaciones de la impresión 3D.

BENEFICIOS	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de ejecución corto. • Disminución de desperdicios casi a 0. • Reducción del impacto ambiental. • Capacidad operativa de 24 horas diarias hasta por 7 días. • Mayor definición en los detalles. • Disminución en la mano de obra. • Variedad de diseños y formas complejas. • Por su capacidad de construcción ínsita se economizan costos logísticos y de transporte de materiales. • Ya que es un proceso automatizado e independiente reduce el riesgo de accidentes laborales. • Se reduce el factor del error humano en la construcción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maquinaria e implementos con costos elevados. • La mayoría de las impresoras disponibles solo pueden hacer casas de 1 piso. • Opera con un solo material a la vez. • Disminución de puestos de trabajo. • Falta de capacitación de los profesionales ante este método de construcción. • Algunas impresoras requieren de mucho espacio para su instalación y operación. • Falta de aprobación por la normatividad vigente de construcción.

Fuente: Propia.

10. MÉTODOS CONVENCIONALES EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

El método de construcción tradicional en casas tiene un proceso el cual empieza con la limpieza del terreno, esto tiene como fin eliminar toda la basura, vegetación u obstáculos, esto se puede realizar manualmente o utilizando maquinaria. Este procedimiento se realiza para hacer posible la ejecución de la obra, esto se realiza tanto para casas, carreteras u otra clase de proyectos de construcción. La realización de este proceso dependerá si se utiliza la maquinaria o se hace manualmente, cuando se habla de dificultad se hace referencia al tipo de maleza, yerba, restos de construcción o escombros [43].

Figura 9. Descapote y preparación del terreno. [44]



Fuente: https://fotos.habitissimo.com.mx/foto/retiro-de-escombros_329586

Figura 10. Limpieza del terreno. [45]



Fuente: <http://www.remeg.com.py/2019/03/07/herramientas-para-limpiar-un-terreno/>

Luego se realiza el proceso de trazo y nivelación, en el trazo se define y se mide el terreno con el fin de identificar las dimensiones de donde se realizará la construcción, también se señalan los ejes y contornos en los cuales irá la cimentación. La nivelación es un proceso de gran relevancia, ya que ayudará a solucionar incógnitas de desniveles o diferencias de puntos del terreno [46].

Figura 11. Replanteo.[47]



Fuente: <https://www.copsac.com.pe/index.php/planteo-y-replanteo-topografico/>

El siguiente paso para este método de construcción es la cimentación. En este paso se realiza la estructura que soportará toda la construcción, es la base que tiene como objetivo soportar todo el edificio y de igual manera distribuyen las cargas del edificio

en el terreno. Para realizar este proceso se debe conocer a fondo el terreno con el fin de conocer qué tipo de suelo es y con ello calcular el peso total que soportará el terreno. Este proceso es fundamental, ya que si no se realiza de forma adecuada puede traer como consecuencia que la estructura tenga fallos que pueden generar pérdidas de materiales, colapsos o derrumbamiento de la estructura [48].

Hay dos tipos de cimentaciones principales, la primera es la cimentación directa que es aquella en la que se posan en las capas superficiales o no tan profundas del suelo; en este tipo la carga se reparte en un plano de apoyo horizontal. Esta cimentación es la más empleada, ya que es la menos costosa y con menos dificultad de ejecutar. La siguiente cimentación es la profunda que se apoya en el esfuerzo cortante entre el terreno y la cimentación para soportar las cargas aplicadas, por esta causa deben ser más profundas y por esto reciben este nombre, para poder distribuir un esfuerzo suficientemente grande para soportar la carga de la estructura [49].

En cuarto lugar, se encuentra el proceso de vigas de cimentación, las cuales se colocan sobre la cimentación y son utilizadas en los suelos cuya capacidad portante es muy baja. Estas vigas de cimentación son de gran importancia, ya que disminuyen el asentamiento diferencial de las estructuras, sus barras de refuerzo se colocan en la forma y se conectan entre sí para hacer una jaula de acero cuadrada o rectangular, en la cual se vierte el hormigón. estas vigas varían en tamaño desde 12 a 18 pulgadas de ancho y de 24 a 36 pulgadas de altura, esto depende de la estructura [50].

Figura 12. Proceso de cimentación. [51]



Fuente: https://www.homify.com.mx/libros_de_ideas/3732674/como-hacer-cimientos-resistentes-a-terremotos

Posteriormente se realiza el levantamiento de muros, primeramente, se realiza el emplantillado que consiste en colocar la primera fila de ladrillos, este emplantillado debe ser nivelado y de igual manera debe garantizar el buen trazo y las dimensiones correctas de los ambientes de la vivienda, ya que este proceso servirá de guía para seguir el levantamiento del muro. Este proceso de levantamiento de muros se realiza con ladrillos y cemento y con estos dos materiales se lleva a cabo este proceso hasta conseguir las medidas deseadas para la construcción [52].

Figura 13. Levantamiento de muros. [53]

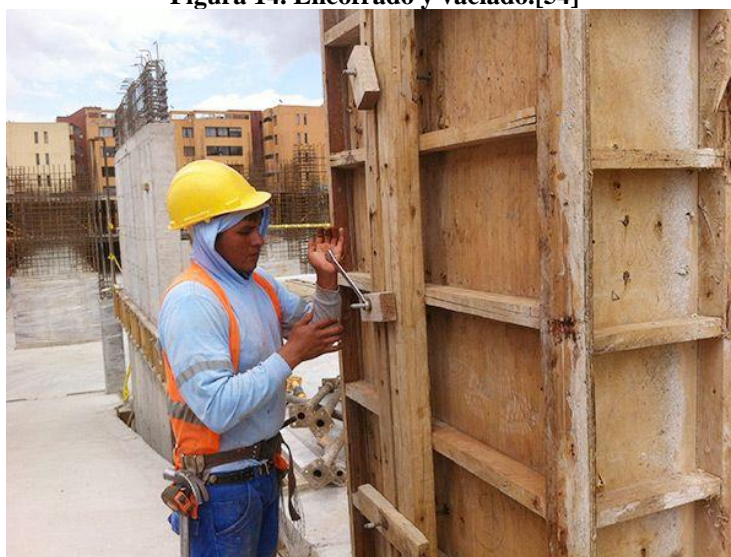


Fuente: <http://www.cementosinka.com.pe/blog/todo-sobre-la-albanileria-confinada/>

Luego de realizar el levantamiento de muros se arman los encofrados de columnas donde inician o terminan los mismo, las cuales cumplen la función de amarrar los muros de ladrillo. Dichos encofrados son estructuras sujetas a diversos tipos de cargas que pueden tener las magnitudes muy considerables. Por ello, debe haber una precisión en las medidas, para asegurar que no ocurrirán accidentes en la obra o fallas en los encofrados que son producidos principalmente por no considerar la Real magnitud de las cargas.

Dicho proceso se realiza con madera y hormigón. Inicialmente se hace una limpieza y nivelación del terreno, ya que este terreno de estar nivelado se sigue con un proceso donde se hace una especie de molde de madera que se sostiene con estacas. Luego de esto se revisa que esté correctamente alineado y por último se vierte el concreto. Este proceso de encofrados se utiliza en el siguiente paso, el cual es la construcción de escaleras cuando son necesarias.

Figura 14. Encofrado y vaciado.[54]



Fuente: <https://www.formalet.com/madera/puertas-de-madera-para-interiores.html>

Figura 15. Diseño de escaleras.[55]



Fuente: <https://perfectaidea.com/11-recomendaciones-antes-de-empezar-construir-una-escalera-de-concreto/>

Luego de analizar la información se puede concluir que el método de construcción tradicional muestra la siguientes beneficios y limitaciones (ver figura 16).

Figura 16. Beneficios y limitaciones del método de construcción tradicional.

BENEFICIOS	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none"> • Alta resistencia. • La construcción es más perdurable. • Estabilidad debido a los materiales utilizados. • Materiales fáciles de conseguir. • Son más resistentes ante fuerzas sísmicas. • Brindan un mayor aislamiento acústico y térmico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos elevados de mano de obra. • Proceso demasiado largo y lento. • Contaminación ambiental debido a los escombros. • Costos logísticos y de transporte de materiales elevados. • Alta probabilidad de accidentes laborales. • Alta probabilidad de errores humanos en el diseño y ejecución

Fuente: Propia.

11. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA “DESIGN THINKING”

Para poder llegar a un análisis apropiado se debe hacer un estudio del tema basado en diferentes factores técnicos, socioeconómicos y culturales. Para realizar dicho estudio se utilizaron los conocimientos y herramientas adquiridos en la visita técnica internacional virtual, centrándose mayormente en la metodología “Design Thinking”. Esta metodología consiste en una serie de etapas las cuales se explican a continuación:

COMPRESIÓN DE LAS NECESIDADES Y ENTORNO DE LOS USUARIOS

Para dar respuesta a esta etapa se da deben responder a una serie de preguntas planteadas las cuales al final se plasman en un pentágono de demandas e impulsores de innovación.

TENDENCIAS ACTUALES DE LA INDUSTRIA A NIVEL MUNDIAL

Hoy la fabricación aditiva o más conocida como impresión 3D presenta grandes avances y tendencias en diferentes industrias a nivel global desde el sector automotriz, constructivo, tecnológico y en la medicina. Adicionalmente, es una industria que tiene un fuerte con el medio ambiente ya que solo se utiliza el material necesario reduciendo el porcentaje de desperdicio casi a cero.

TENDENCIAS ACTUALES DE LA INDUSTRIA EN SU ENTORNO ECONÓMICO

A nivel nacional esta es una industria que no tiene tanta relevancia o no es tan conocida, ya que hasta el momento se encuentra en fase experimental y su mayor fuerte se da en el sector de la construcción, tanto así que se plantea usar este método para la fabricación de viviendas de interés social.

TENDENCIAS ACTUALES SOCIALES Y CULTURALES A NIVEL MUNDIAL

Hoy en día la impresión en 3D puede producir objetos en diferentes diseños, tamaños y colores, basado en materiales como lo son el plástico, la cerámica, el vidrio, el caucho y el cuero. Es un proceso demasiado rápido donde se pueden producir formas y diseños a grandes velocidades. Adicional de la producción rápida tienen una eficiencia del 90%, estas impresiones en 3D dan oportunidades para que se puedan personalizar masas, los grandes avances en la fabricación de aditivos están acelerando estas tendencias y en un futuro se espera que las velocidades las impresiones en 3D aumentan entre 50 y 100 veces.

TENDENCIAS ACTUALES SOCIALES Y CULTURALES EN SU ENTORNO ECONÓMICO

Dentro del entorno económico no se evidencia una gran tendencia en la impresión 3D en el ámbito social y cultural, ya que es un método de innovación que han usado muy poco o no se ha usado en nuestro entorno laboral, por lo cual no se tiene claridad de qué tendencias hay debido a que hasta ahora se está implementando como un nuevo sistema de innovación en la construcción.

TENDENCIAS ACTUALES DE LAS PERSONAS COMO CONSUMIDORES A NIVEL MUNDIAL

- El ensamblaje automatizado: Se integrarán ensamblajes de varias partes que incluyen piezas de metal y plástico impresión en 3D.
- La codificación de información digital en texturas: Es una manera de etiquetar una parte abierta o encubierta para que las personas y las máquinas puedan leerla.

- Producción sostenible: Donde se busca producir menos residuos, generar menos inventarios y menos emisiones de CO2.
- Aumentará la demanda de estudiantes: Mediante el uso de nuevos softwares se busca fomentar nuevos planes de estudio que sean innovadores en impresión 3D y sean llamativos para la comunidad estudiantil.

TENDENCIAS ACTUALES DE LAS PERSONAS COMO CONSUMIDORES EN SU ENTORNO ECONÓMICO

El sector de la construcción es uno de los más antiguos en el mundo por lo que puede ser complicado integrar la tecnología y así poder innovar en sus distintos procesos. No obstante, se busca satisfacer al cliente y por eso las demandas de construcciones que se adapten a las necesidades actuales.

- Los materiales sustentables: por el calentamiento global se necesitan aprovechar los residuos del ser humano así que poco a poco se han ido sustituyendo materiales.
- Los MagPanel: Utiliza la fuerza magnética para sustituir materiales adhesivos.

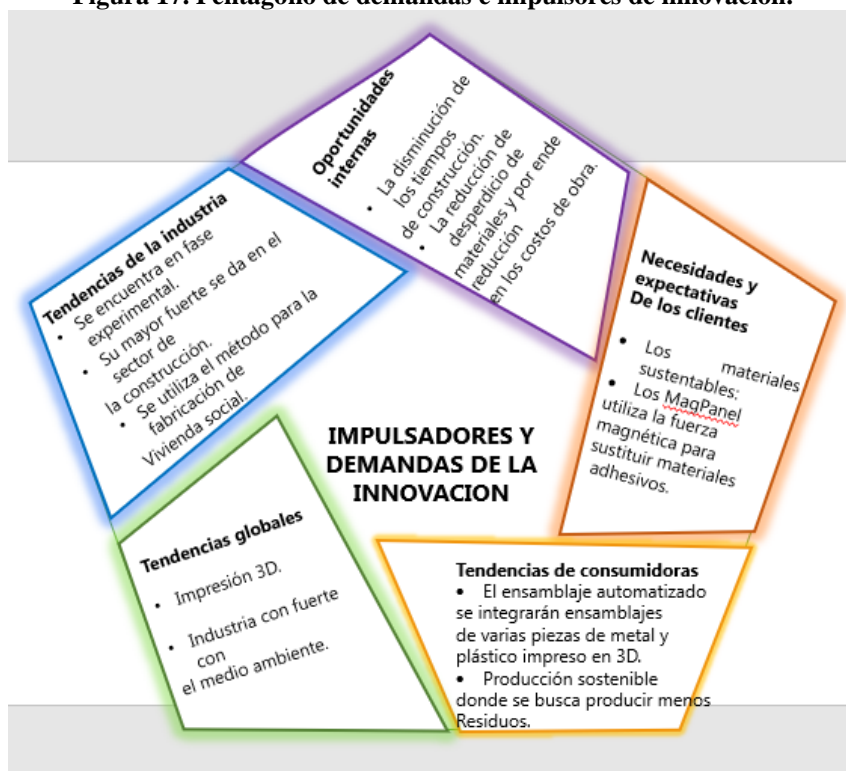
NECESIDADES ACTUALES DE LOS CLIENTES DE LA EMPRESA EN LA QUE DESEA DESARROLLAR SU PROYECTO INNOVADOR

Las principales necesidades de los clientes son la disminución de los tiempos de construcción, la reducción de desperdicio de materiales y por ende reducción en los costos de obra, por otra parte, la necesidad de construir estructuras más esbeltas las cuales requieren un grado de precisión más exacto y detallado.

A continuación, se plasman y se resumen las respuestas en el siguiente esquema:

PENTÁGONO DE DEMANDAS E IMPULSORES DE INNOVACIÓN

Figura 17. Pentágono de demandas e impulsores de innovación.



Fuente: Propia.

12. GENERACIÓN MAPA DE EMPATÍA

Se identifica quiénes son los principales clientes y partes interesadas de las demandas de innovación en el sector de la construcción con la aplicación de la metodología de impresión 3D en esta industria.

- Instituciones
- Empresas
- Asociaciones
- Contratistas

Se identifica la parte interesada:

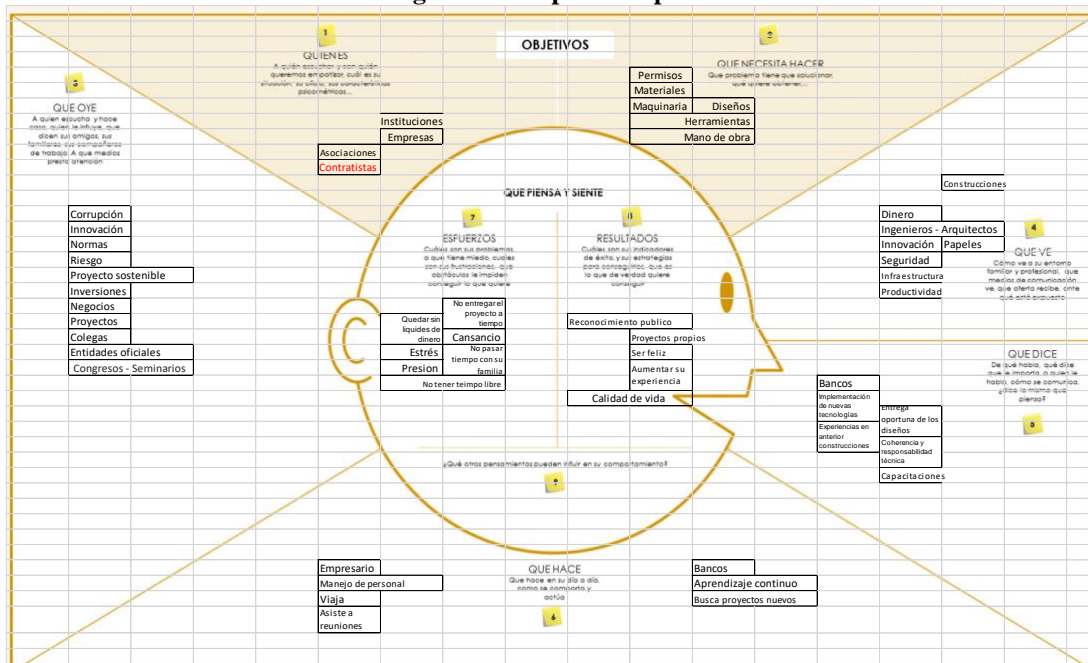
- **Quién es:** Es la persona que conduce las construcciones, debe tener liderazgo y mucha experiencia en el campo de la construcción, por lo tanto, a trabajo o estudiado durante mucho tiempo.
- **Qué piensa:** Sus pensamientos van enfocados al trabajo todo el tiempo, por esta razón puede llegar a manejar un nivel de estrés muy alto debido al compromiso adquirido con sus clientes para entregar sus proyectos en el tiempo estipulado
- **Qué ve:** Al estar todo el día en su trabajo ve construcciones, materiales, dinero, papeles y a sus colegas o colaboradores, como lo son los ingenieros y arquitectos.
- **Qué dice:** Habla de los proyectos que hizo o los que va a realizar, habla de lo que aprendió en sus estudios y la coherencia con los proyectos que construye; siempre dice que es el mejor en lo que hace.

- **Qué oye:** Las innovaciones de la construcción, los negocios o inversiones en las que más se mueve más el dinero y las nuevas leyes o normas de las entidades oficiales.
- **Qué hace:** Sus jornadas laborales son extensas que el tiempo que puede compartir con su familia o amigos es limitado, también está en un constante proceso de aprendizaje para adquirir nuevos conocimientos a través de conferencias, foros, etc.
- **Qué miedos tiene:** Miedo al fracaso laboral, quedarse sin liquidez o estar en banca rota y no cumplir con los tiempos establecidos.
- **Cómo mide su éxito personal:** A través del reconocimiento que le dan las personas, su salario y los estudios que haya realizado.

A continuación, se plasman y se resumen las respuestas en el siguiente esquema:

12.1. MAPA DE EMPATÍA

Figura 18. Mapa de empatía.



Fuente: Propia.

13. ETAPA DE IDEACIÓN

En esta etapa se describe la propuesta de valor de la innovación para la posible implementación de la impresión 3D en el país. Esto se pretende realizar contestando a las siguientes preguntas:

- ¿Qué se debe **mantener** para ayudar a la parte interesada a alcanzar sus resultados?

Mantener los estándares de calidad de una construcción tradicional para alcanzar los resultados que deberán satisfacer las necesidades y exigencias de los consumidores de esta industria.

- ¿Qué se debe **mantener** para satisfacer las expectativas de la parte interesada?

Mantener la seguridad en el cliente que brinda el proceso tradicional de construcción al momento de desarrollar proyectos de construcción civil mediante la impresión 3D como modelos de innovación en el campo de la ingeniería.

- ¿Qué se debe **mantener** para ayudar a la parte interesada a superar los obstáculos con los que se encuentra?

Mantener los estándares de calidad de una construcción tradicional para que las partes interesadas potencialmente vean en esta tecnología una alternativa viable.

- ¿Qué **eliminar** para ayudar a la parte interesada a alcanzar sus resultados?

Eliminar el margen de error y de desperdicio en construcciones para hacer de este un servicio competente y con un valor extra ante los demás métodos de construcción.

- ¿Qué **eliminar** para satisfacer las expectativas de la parte interesada?

Eliminar los sobrecostos debido al desperdicio de materiales que se presenta con la construcción convencional, así mismo los sobrecostos debido a los tiempos de ejecución de los proyectos y por ende el incremento en los costos por mano de obra.

- ¿Qué **eliminar** para ayudar a la parte interesada a superar los obstáculos con los que se encuentra?

Se debe eliminar la sensación de inseguridad con esta metodología para generar una alternativa viable para la empresa y que se agradable para los consumidores durante todo el proceso.

- ¿Qué **crear** para ayudar a la parte interesada a alcanzar sus resultados?

Se debe crear o establecer un proceso estandarizado y fiable desde todos los aspectos en estudio para la parte interesada.

- ¿Qué **crear** para satisfacer las expectativas de la parte interesada?

Un proceso estandarizado, fiable y capaz de construir cualquier diseño requerido por los usuarios para cumplir con sus expectativas

- ¿Qué **crear** para ayudar a la parte interesada a superar los obstáculos con los que se encuentra?

Un modelo constructivo que genere confianza en los clientes ya que al ser algo nuevo en el mercado se puede incurrir en temores como incertidumbre del producto final, durabilidad del producto, etc.

- ¿Qué **mejorar** para ayudar a la parte interesada a alcanzar sus resultados?

Mejorar un proceso ya establecido mediante un proyecto de innovación como lo es la impresión 3D para optimizar los tiempos y costos de producción en obras.

- ¿Qué **mejorar** para satisfacer las expectativas de la parte interesada?

Mejorar el proceso de construcción tradicional para así optimizar tiempos y materiales de construcción con el fin de cumplir las expectativas de los clientes en este nuevo proceso o servicio.

- ¿Qué **mejorar** para ayudar a la parte interesada a superar los obstáculos con los que se encuentra?

Mejorar los costos de producción y ejecución para que sea un servicio accesible a los clientes y el tema monetario no sea un obstáculo.

Con las respuestas obtenidas a través de las preguntas planteadas anteriormente se llega a una conclusión y es que el mayor problema que puede presentar la implementación de la impresión 3D en el sector de la construcción en cuanto a clientes potenciales es la sensación de inseguridad respecto a la falta de confianza en este nuevo proceso y de igual manera se puede contrarrestar con las propuestas y pros identificados que se plasmaron en la Figura 19. Posterior a realizar la identificación de la propuesta de valor que aportaría dicho proceso se realiza una aproximación a la viabilidad (Figura 20) de la implementación desde los aspectos que enfocan la presente investigación:

- **Económica:** A pesar de que la inversión inicial seria elevada ya que se tendría que adaptar y perfeccionar este proceso a la construcción y se tendría que capacitar a los trabajadores, se estima que la retribución económica será mayor ya que el valor

agregado en cuanto a disminución de sobre costos del cliente así lo permitiría haciendo de este un proyecto viable desde este ámbito.

- **Técnica:** desde la parte de especificaciones y requerimientos técnicos la maquina disminuye el margen de error ya que se omite el factor del error humano al ser un proceso casi 100% computarizado viendo desde este punto sería el mayor fuerte en cuanto a innovación.
- **Social:** el arraigo a lo convencional y la sensación de inseguridad ante un nuevo método de construcción puede ser un factor que afecte el desarrollo del proyecto ya que los posibles clientes puede que no confíen y por lo tanto no tomen el servicio debido a esto.
- **Comercial:** a nivel comercial se concluyó mediante el estudio de mercado que se puede tornar demasiado viable ya que los procesos de construcción actuales y tradicionales tiene fallas que la impresión 3D resuelve haciendo que sea un servicio competente ante los presentes en la industria

Se adjunta de manera gráfica el resultado final del **Canvas de Generación de Innovación** que permite observar de manera organizada los resultados del 3 paso de la metodología “Design Thinking”:

Figura 19. Canvas de generación de innovación.

	OBSTÁCULO	RESULTADOS	EXPECTATIVAS
MANTENER	Los estándares de calidad de una construcción tradicional para que los clientes vean en este proceso una alternativa viable	Los estándares de calidad de una construcción tradicional para alcanzar los resultados que deberán satisfacer las necesidades y exigencias del cliente	La confianza que brinda el proceso de construcción tradicional al momento de desarrollar proyectos de construcción mediante la impresión 3D como modelo de innovación
ELIMINAR	La sensación de inseguridad con este nuevo proceso y hacer que sea un proceso agradable para el cliente durante la duración del proyecto	El margen de error y de desperdicio en construcciones para hacer de este un servicio competente y con un valor agregado	Los sobrecostos que se pueden generar por el desperdicio de materiales en la construcción tradicional y de igual manera los costos adicionales por mano de obra debido a los largos tiempos de ejecución de los proyectos
CREAR	Un modelo de negocio que genere confianza en los clientes potenciales ya que al ser un método nuevo se puede incurrir en temores como incertidumbre del producto final, calidad, durabilidad, etc.	Un proceso estandarizado y confiable para el cliente y también rentable para quien lo ofrece	Un proceso capaz de crear estructuras con los más altos niveles de detalles exigidos por los usuarios
MEJORAR	La optimización de costos de producción para que sea un servicio accesible para cualquier persona en general evitando que el factor monetario sea un obstáculo	Un proceso ya establecido mediante un proceso innovador como lo es la impresión 3D para optimizar tiempos y costos de producción de obra	El proceso de construcción tradicional para así optimizar tiempos y reducir el desperdicio de materiales casi a cero para cumplir las expectativas de las partes interesadas

Fuente: Propia.

Figura 20. Viabilidad.

VIABILIDAD			
COMERCIAL	SOCIAL	TÉCNICA	ECONÓMICA
A nivel comercial se concluyó mediante el estudio de mercado que se puede considerar como una opción viable ya que los procesos de construcción actuales tienen deficiencias a las que la impresión 3D brinda soluciones haciendo que sea un servicio competente en el mercado actual de la industria	El arraigo a los convencional y la sensación de inseguridad ante un nuevo método de construcción puede ser un factor que afecte el desarrollo del proyecto ya que los clientes potenciales de este servicio puede que no confíen en este proceso	Desde la parte de especificaciones y requerimientos técnicos la maquina disminuye el margen de error ya que se omite el factor del error humano al ser un proceso casi 100% computarizado y viéndolo desde esta perspectiva también tendría un fuerte en cuanto a innovación	A pesar de que la inversión inicial sería bastante elevada partiendo del costo de la maquinaria y posterior capacitación del personal se puede estimar que al romper los obstáculos para su implementación dicha inversión podría verse retribuida debido a los valores agregados que ofrece esta tecnología haciendo que sea viable desde este aspecto

Fuente: Propia.

14. PROPUESTA DE LA APLICACIÓN DE LA IMPRESIÓN 3D EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA.

SEGMENTO DE CLIENTES

Se manejan tres posibles clientes, los cuales buscan fomentar la innovación en la construcción con impresiones en 3D lo que beneficiara a cada uno de estos posibles clientes, se tienen clientes como persona natural, el cual busca realizar construcción de vivienda propia en implementado este sistema para beneficio propio. El segundo posible cliente es el contratista, quien busca involucrar este sistema en la construcción de viviendas al mismo tiempo, y por último, el tercer cliente serían las grandes constructoras con los que se busca que las construcciones en masa se vaya implementando este sistema de impresiones en 3D en la construcción de obras civiles. Estos tipos de clientes están radicados en la ciudad de Bogotá, donde se espera que en cualquiera de los tres clientes tengan fácil acceso a los lugares de trabajo y en donde la implementación de este nuevo sistema en el país tenga un mayor acceso y mejor acogida.

PROPUESTA DE VALOR Y PROBLEMA A SOLUCIONAR EN LA INDUSTRIA

En algunos casos los clientes quedan insatisfechos con la demora de las entregas de las viviendas y los posibles defectos que estos puedan presentar, ya que en el momento de la ejecución de las obras y en los detalles en la personalización de las construcciones. Debido a estos imprevistos se busca mejorar el sistema de las construcciones y mejora la calidad de las mismas mediante la implementación de las impresiones en 3D. Utilizando este sistema se busca a que los clientes tengan un buen

producto al entregar y a su vez integrar un sistema nuevo en las construcciones comunes y básicas ya utilizadas.

Con la ayuda de la de las impresiones en 3D los clientes crean una mayor confianza adicional a eso los tiempos de construcciones serán mucho más cortos y la reducción de desperdicio de materiales y por ende reducción en los costos de obra.

HERRAMIENTAS NECESARIAS PARA LLEVAR A CABO LA IMPLEMENTACIÓN 3D EN LA CONSTRUCCIÓN

Para poder competir en el mercado de la construcción en donde se piensa implementar este sistema de impresión e 3D, se debe contar con un equipo de ingenieros, arquitectos y personal capacitados en el tema para que puedan llegar a vender un buen producto, para que así se realice un buen manejo de los equipos, se realicen diseños innovadores y se manejen diferente software.

También se requieren equipos de comunicación y computo; que los computadores tengan software actualizados programas modernos para así poder llevar a cabo la ejecución de estos proyectos.

AGENTES CON LOS QUE NECESITA TRABAJAR PARA HACER POSIBLE ESTA IMPLEMENTACIÓN

Para que este método de construcción se vea como algo viable debe relacionarse con los siguientes agentes:

- Se requiere de una empresa encargada de realizar las cimentaciones.
- Una empresa encargada de todos los trabajos hidráulicos.
- Una empresa encargada de realizar el suministro de cementos, agregados y aceros.

- Una empresa encargada de los terminados y remates.

Con base en la investigación realizada y el estudio del caso mediante la metodología “Design Thinking” y otras herramientas aprendidas o adquiridas como el mapa de empatía (Figura 18), Canvas de generación de innovación (Figura 19) durante la visita técnica internacional virtual, se generó el siguiente cuadro comparativo:

Figura 21. Cuadro comparativo entre métodos.

	MÉTODO TRADICIONAL	MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN 3D
Resistencia	Brinda una mayor resistencia ante fuerzas externas como sísmicas y de viento ya que los materiales de construcción son mas robustos.	Se presume que puede ser un poco menor su resistencia debido a que sus materiales son más livianos.
Costos	En cuanto a materiales, tiempo de ejecución y mano de obra es un método con costos muy elevados	Gracias a su rápida ejecución debido a su sistema computarizado y autónomo reduce tiempos de construcción, mano de obra y desperdicio de materiales generando un ahorro significativo en costos de construcción
Tiempo de ejecución del proyecto	Es un proceso largo y lento debido a que se deben realizar paso a paso cada uno de los procesos y el factor humano retarda dichos tiempos. (su duración puede ser de dos meses o más dependiendo de la magnitud del proyecto)	Al ser un proceso autónomo y computarizado es capaz de operar de manera continua y sin interrupciones durante días completos siendo capaz de construir una casa unifamiliar en cuestión de días.
Impacto ambiental	Tiende a ser un proceso que genera un impacto fuerte a nivel ambiental debido a los materiales y procesos que en este se utilizan.	Gracias a su sistema de construcción permite generar una reducción de desperdicio de materiales siendo así más amigable con el medio ambiente.

Fuente propia.

15. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La metodología de construcción tradicional brinda un mayor grado de confianza en los usuarios, ya que ha sido el método de construcción convencional y hay ciertos temores ante la implementación de nuevas tecnologías.
- El tiempo de construcción de viviendas unifamiliares entre los dos métodos de construcción tiene una diferencia aproximada del 90%, siendo a favor de la construcción 3D, otorgando una ventaja considerable a dicho método.
- La construcción 3D tiene una ventaja en cuanto a costos, ya que minimiza el tiempo de ejecución, mano de obra y desperdicios de materiales en comparación con la construcción tradicional, pero se debe resaltar que las máquinas de impresión 3D a gran escala tienen costos que empiezan desde los 600'000.000 COP aproximadamente.
- El método de construcción 3D brinda un mayor grado de seguridad ambiental, ya que su procedimiento produce menores impactos ambientales si se tiene en cuenta que se minimiza el porcentaje de desperdicios casi a 0.
- La flexibilidad en diseños en la construcción de viviendas en 3D es mucho mejor que la del método tradicional, ya que esta no compromete la estabilidad estructural de la vivienda y brinda una mejor calidad en detalles.
- En nuestro país la construcción 3D es un método constructivo muy reciente y aunque ya se han desarrollado estudios y proyectos con esta metodología, se debe destacar que es un método en fase de estudio y aun no tiene aprobación por la normativa vigente de construcción.

- El porcentaje de accidentes laborales es mucho menor con el método de impresión 3D, ya que reduce la mano de obra a utilizar durante la ejecución del proyecto.
- La reducción en la mano de obra con el método de impresión 3D tendría un gran impacto a nivel laboral, ya que reduciría el número de trabajadores por proyecto.
- Aunque se puede tener una vivienda en pocos días con la impresión 3D, se debe resaltar que esta tendría que ser terminada con ayuda de trabajadores ya que el método solo ejecuta la parte estructural, dejando de un lado los acabados.
- La impresión 3D a gran escala podría ser útil ante emergencias ambientales que generen pérdidas de infraestructura y viviendas, brindando albergues provisionales en poco tiempo para la población afectada.
- Para futuras investigaciones sobre la construcción 3D en obras civiles se recomienda realizar ensayos de resistencia estructural y de materiales en laboratorios, ya que durante la presente investigación no se pudo realizar ningún tipo de ensayo debido a las restricciones de movilidad a causa de la pandemia del COVID-19.
- Extender los estudios de este proyecto con el fin de demostrar a grandes empresas y entidades territoriales que es factible la implementación de este método de construcción en Colombia, para así lograr la incorporación de este método dentro de las opciones de construcción en la industria.
- Se recomienda realizar investigaciones que puedan comparar el método de construcción mediante impresión 3D con el método de elementos

prefabricados, ya que son similares y este último ya es autorizado por la normatividad de construcción de Colombia. En este sentido, se pueden generar soluciones para hacer de la impresión 3D un método viable de construcción a nivel nacional.

16. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Caviglioni, «PROCESOS CONSTRUCTIVOS,» 2014. [En línea]. Available: <https://procesosconstructivos.files.wordpress.com/2014/05/2014-cms-pc3-tp01b1.pdf>.
- [2] ITMadrid, «Digital School,» 6 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.itmadrid.com/que-es-y-para-que-sirve-design-thinking/>.
- [3] AUTODESK, 2020. [En línea]. Available: <https://www.autodesk.mx/solutions/3d-printing>.
- [4] B. Institute, «BSG Institute,» 2020. [En línea]. Available: <https://bsginstitute.com/tag/Tecnicas-de-Construccion>.
- [5] M. Custódio, «Mapa de empatía: qué es y 6 pasos para crear uno de calidad,» 7 Diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.rdstation.com/co/blog/mapa-de-empatia/>.
- [6] J. Pegna,
«https://www.academia.edu/28575455/Exploratory_investigation_of_solid_freeform_construction,» Automation in Construction, 1997.
- [7] B. Khoshnevis y R. Dutton, «Taylor and Francis Group,» Technological Advances, 25 Agosto 1998. [En línea]. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10667857.1998.11752766>. [Último acceso: Octubre 2020].
- [8] I. R. L. E. , M. & D. M. De La Cruz, «3D printing of models and prototypes in architecture and construction,» Revista de la construcción, vol. 15, 1 Agosto 2013.
- [9] S. Font y Echeverry, «Las primeras casas por impresión 3D de España,» XATAKA, 13 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/otros/primeras-casas-impresion-3d-espana-estan-marcha-estos-retos-a-qu>.
- [10] R. Steinbeck, «El «design thinking» como estrategia de,» Revista Comunicar, vol. 101, nº <https://www.redalyc.org/pdf/158/15820024004.pdf>, 2011.
- [11] G. C. D. y I. A. Tânase, «3D Printing - New Industrial Revolution,» 2016. [En línea]. Available: <http://orizonturi.ucdc.ro/arhiva/khe-vol8-nr1-2016/05.%20George%20Cornel%20Dumitrescu.pdf>.
- [12] M. Honrubia, «Ennomotive,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.ennomotive.com/es/impresion-3d-en-construccion/>.

- [13] E. F. N. D. A. M. ., G. & B. B. ., L. A. Gómez Luna, «Dyna,» Noviembre 2014. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/496/49630405022.pdf>.
- [14] 3Dnatives, «GUÍA COMPLETA: LOS SOFTWARES DE IMPRESIÓN 3D.,» la impresión 3D , 2020. [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/guia-programas-softwares-de-impresion-3d/#!>.
- [15] Impresion3d, «3d por estereolitografía,» 29 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.impresioni3d.com/impresion-3d-por-estereolitografia/>.
- [16] E. A. L. M. J. & T. D. E. Torres Barahona, «Sistema de posicionamiento aplicado a la técnica de impresión 3D modelo deposición fundida,» Dialnet, 2012. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6763061>.
- [17] S. S. Restrepo, « Impresión 3D por estereolitografía,» 3Dnatives, 2017 Noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-por-estereolitografia-les-explicamos-todo/#!>.
- [18] Y. P. B. C. P. S. J. T. M. Q. S. F. L. K. & K. C. C. Wei Tay1, «Processing and Properties of Construction Materials for 3D Printing,» de *Materials Science Forum*, 2016, pp. 177-181.
- [19] M. Vusumuzi y R. Manthiba, 30th CIRP Design 2020 (CIRP Design 2020) The Design Thinking Approach to students STEAM projects, SCIENCEDIRECT, 2020.
- [20] E. de, «Contour Crafting: La Impresora 3D para las construcciones,» 13 Marzo 2014.
- [21] I. A. C. Pardo, «Asesoría y diseño para proyectos de construcción de espacios habitacionales con impresora 3D - Universidad de La Salle,» FINANZAS Y COMERCIO INTERNACIONAL, 1 Enero 2017. [En línea]. Available: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1309&context=finanzas_comercio.
- [22] 3Dnatives, «Contour Crafting la tecnología que imprimirá casas en la Tierra y en la Luna,» El sitio web de la impresión 3D, 2020. [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/contour-crafting-casas-luna-03082016/>.
- [23] Nadal y J. P, «3D printing for construction: a procedural and material-based,» Barcelona, Abril 2017. [En línea]. [Último acceso: 21 Octubre 2020].

- [24] S. A. Soriano, «upcommons.upc.edu,» Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/134783/memoria-tfg-sandra-amado-soriano.pdf>. [Último acceso: 21 Octubre 2020].
- [25] I. 3D, «Construtora Concreto,» concreto, 2018. [En línea]. Available: <https://concreto.com/impresora-3d/>.
- [26] J. J. Sevilla Vilches, «UJA,» [En línea]. Available: <http://tauja.uaen.es/handle/10953.1/12095>. [Último acceso: 15 Julio 2020].
- [27] 3. concreto, «ARGOS,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/viviendas-con-impresion-3d>.
- [28] D. X. Calderón, «Universida militar nueva granada,» 2018. [En línea]. Available: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/17458>. [Último acceso: 21 Octubre 2020].
- [29] M. M. ARMENDIS, «ANÁLISIS DE TIEMPOS Y COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE IMPRESORAS 3D.,» [En línea]. Available: [file:///C:/Users/Martha/Downloads/551389-Mateus-Malag%C3%B3nJ-y-551397-Paredes-AcostaJA-TdG%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Martha/Downloads/551389-Mateus-Malag%C3%B3nJ-y-551397-Paredes-AcostaJA-TdG%20(1).pdf). [Último acceso: Mayo 2020].
- [30] D. P. ., V. J. ., V. & U. L. Migilinskas, «The Benefits, Obstacles and Problems of Practical Bim Implementation,» ELSEVIER, vol. 57, pp. 767-774, 2013.
- [31] G. C. & T. ., I. A. Dumitrescu, «<http://orizonturi.ucdc.ro/arhiva/khe-vol8-nr1-2016/05.%20George%20Cornel%20Dumitrescu.pdf>,» Knowledge Horizons - Economics, vol. 8, nº 1, p. 32–39, 2016.
- [32] O. A. Herrera García, «IMPRESIÓN 3D DE PROYECTOS DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN,» SANTIAGO DE CHILE, 2017.
- [33] C. A. Montiel, «Universitat Politècnica de València,» Universitat Politècnica de València, Valencia , 2018.
- [34] L. C., «Apis Cor recibe 6M de financiación para llevar sus impresoras 3D a todo el mundo,» 25 Septiembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/apis-cor-impresoras-3d-250920172/>. [Último acceso: 20 Febrero 2021].
- [35] J. D. Polo , «WWWhatsnew,» 20 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://wwwwhatsnew.com/2019/12/20/dubai-construye-el-edificio-mas-grande-del-mundo-nacido-de-la-impresion-3d/>. [Último acceso: 20 febrero 2021].
- [36] «D contrucción portal de noticias,» Febrero 2018. [En línea]. Available: <http://www.dconstruccion.cl/?p=19370#:~:text=El%20proceso%20BatiPrint%203D>

%20patentado,pol%C3%ADmero%20del%20tipo%20expansivo%20y. [Último acceso: 20 Febrero 2021].

[37] «IMPRIMALIA 3D,» 14 Septiembre 2017. [En línea]. Available: <http://imprimalia3d.com/noticias/2017/09/13/009301/impresi-n-3d-una-vivienda-social-nantes>. [Último acceso: 20 Febrero 2021].

[38] «ABC ECONOMÍA,» 03 Febrero 2021. [En línea]. Available: https://www.abc.es/economia/abci-construccion-viviendas-empieza-tomar-forma-202102020127_noticia.html?ref=https:%2F%2Fwww.google.com%2F. [Último acceso: 15 Febrero 2021].

[39] «Economía 3,» 10 10 2019. [En línea]. Available: <https://economia3.com/2019/10/10/226254-be-more-3d-imprime-casa-metros-horas/>

[40] M. Sader , «AD,» 18 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.revistaad.es/arquitectura/articulos/gaia-primera-casa-impresa-hecha-arroz-tierra/22017>.

[41] L. C, «3D natives,» 22 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/dia-de-la-tierra-3d-210420172/#!>.

[42] «CELSIDE,» 3 febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.celside-magazine.com/es-es/vale-lo-mismo-que-un-iphone-y-esta-impresa-en-3d-gaia-la-casa-del-futuro/>

[43] D.O, «Homily,» 25 Julio 2018. [En línea]. Available: https://www.homify.cl/libros_de_ideas/5632974/preparacion-y-limpieza-de-terreno-para-una-obra-chica-o-mediana.

[44] «Habitissimo,» 2012. [En línea]. Available: https://fotos.habitissimo.com.mx/foto/retiro-de-escombros_329586.

[45] «remeg,» 9 marzo 2019. [En línea]. Available: <http://www.remeg.com.py/2019/03/07/herramientas-para-limpiar-un-terreno/>.

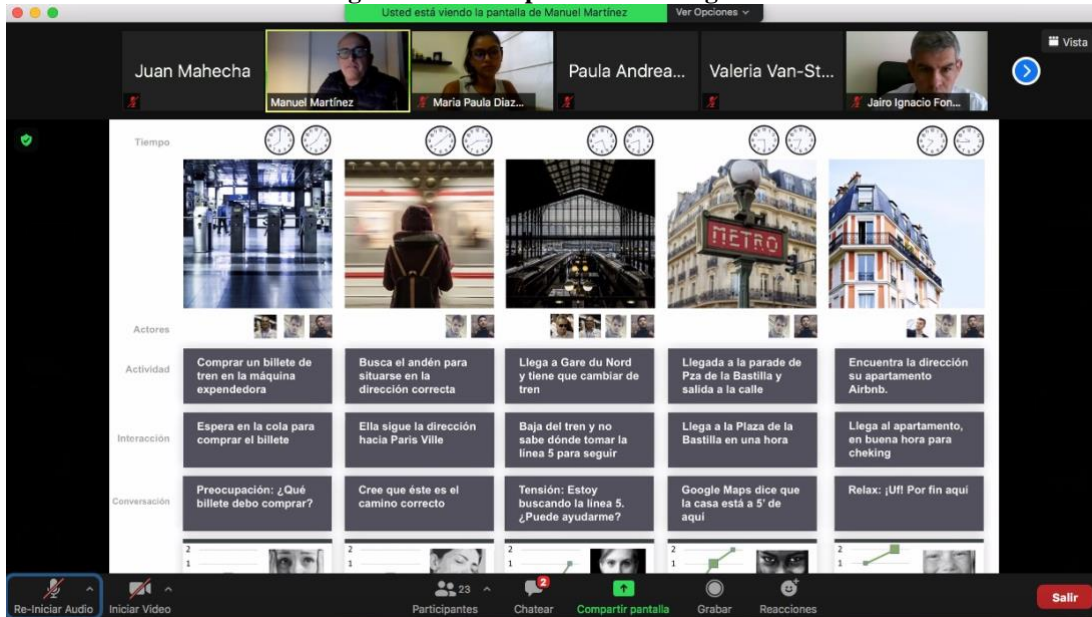
[46] «Grupo grasa,» 27 septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://grupograsa.es/la-importancia-del-nivelado-del-terreno/#:~:text=Cuando%20hablamos%20de%20nivelaci%C3%B3n%20nos,entre%20dos%20o%20m%C3%A1s%20puntos.&text=As%C3%AD%20%20antes%20de%20comenzar%20cualquier,y%20los%20planos%20de%20obra>.

- [47] «COPSAC,» 2016. [En línea]. Available:
<https://www.copsac.com.pe/index.php/planteo-y-replanteo-topografico/>.
- [48] «AUCASA,» 12 Mayo 2016. [En línea]. Available:
<http://aucasaobras.com/web/2016/04/26/cimentacion-que-es-y-como-se-hace/>.
- [49] E. Comunicación, «eadic,» 30 Septiembre 2015. [En línea]. Available:
<https://www.eadic.com/tipos-cimentacion-directa/>.
- [50] O. Z. Cuchillo Cayturo, «civilgeeks.com,» 23 Julio 2015. [En línea].
Available: <https://civilgeeks.com/2015/07/23/apuntes-sobre-las-vigas-de-cimentacion/>.
- [51] J. Castro, 23 Septiembre 2017. [En línea]. Available:
https://www.homify.com.mx/libros_de_ideas/3732674/como-hacer-cimientos-resistentes-a-terremotos.
- [52] A. AREQUIPA, «Contruye Seguro Manual para propietarios,» p. 94, 2010.
- [53] «Cementosinka,» 9 Febrero 2018. [En línea]. Available:
<http://www.cementosinka.com.pe/blog/todo-sobre-la-albanileria-confinada/>.
- [54] «Formalet,» 2019. [En línea]. Available:
<https://www.formalet.com/madera/puertas-de-madera-para-interiores.html>.
- [55] M. DIY, «IDEAS PERFECTAS,» 19 Mayo 2018. [En línea]. Available:
<https://perfectaidea.com/11-recomendaciones-antes-de-empezar-construir-una-escalera-de-concreto/>.

17. ANEXOS

ANEXO A. EVIDENCIA DE PARTICIPACIÓN VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL VIRTUAL



Figura 22. Participación clase magistral.



Fuente propia.

ANEXO B. CERTIFICADO DE PARTICIPACIÓN VISITA TÉCNICA INTERNACIONAL VIRTUAL

Figura 23. Certificado participación visita técnica internacional virtual.

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		CERTIFICATE OF ACHIEVEMENT CERTIFICADO DE APROVECHAMIENTO
The Universitat Politècnica de València certifies that	La Universitat Politècnica de València certifica que	
JUAN DIEGO MAHECHA VARGAS	JUAN DIEGO MAHECHA VARGAS	
ID 1018496034, has completed and passed the assessment tests set out in the course VIRTUAL INTERNATIONAL ACADEMIC MISSION IN INNOVATION MANAGEMENT , held from 11/3/20 to 12/19/20 (mm/dd/yy) of 120 distance hours, equivalent to 12 credits, and it witness whereof, it is issued this certificate.	con cédula de identidad número 1018496034, ha realizado y superado las pruebas de evaluación establecidas en el curso MISIÓN ACADÉMICA INTERNACIONAL VIRTUAL EN GESTION DE LA INNOVACIÓN , celebrado del 3/11/20 al 19/12/20 de 120 horas a distancia, correspondientes a 12 créditos. Y para que conste a los efectos oportunos, se expide el presente certificado.	
		

Electronically signed document, can be verified at <https://seidu.upv.es/verificador>. Seguro Verification Code: FCP779SN40J7
Documento firmado electrónicamente, verificable en <https://seidu.upv.es/verificador>. Código Seguro de Verificación: FCP779SN40J7

Fuente propia.